

Der Forggensee im Jahreswandel – auf dem Weg zur täglichen Wasserstandsmeldung aus dem Weltall

Anika Blocksdorf, Andreas Schmitt & Anna Wendleder

PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science

Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation

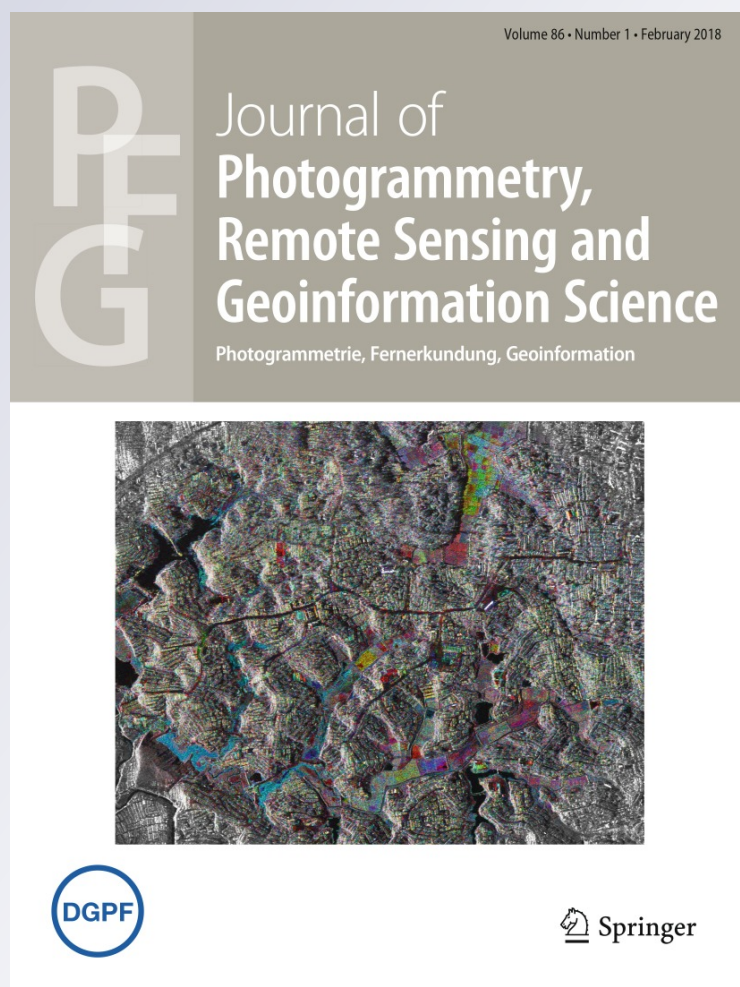
ISSN 2512-2789

Volume 86

Number 1

PFG (2018) 86:29-33

DOI 10.1007/s41064-018-0049-0



Your article is protected by copyright and all rights are held exclusively by Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e.V.. This e-offprint is for personal use only and shall not be self-archived in electronic repositories. If you wish to self-archive your article, please use the accepted manuscript version for posting on your own website. You may further deposit the accepted manuscript version in any repository, provided it is only made publicly available 12 months after official publication or later and provided acknowledgement is given to the original source of publication and a link is inserted to the published article on Springer's website. The link must be accompanied by the following text: "The final publication is available at link.springer.com".

Der Forggensee im Jahreswandel – auf dem Weg zur täglichen Wasserstandsmeldung aus dem Weltall

Anika Blocksdorf¹ · Andreas Schmitt¹ · Anna Wendleder²

Published online: 28 May 2018

© Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e.V. 2018

Zusammenfassung

Die Erstellung einer täglichen aus Satellitendaten abgeleiteten, Wassermaske und deren Visualisierung rückt in der Wissenschaft immer mehr in den Fokus. In diesem Artikel wird am Beispiel des Forggensees, der als Stausee für seine starke Wasserflächenänderung bekannt ist, eine einfache und robuste Methode zur Erstellung einer täglichen Wassermaske beschrieben und so der saisonale Wandel der Wasserflächen für das Jahr 2016 abgeleitet. Der Forggensee wird jedes Jahr im Herbst um ca. 15,5 m abgesenkt und somit auf ein Viertel seiner Fläche reduziert, um im Frühjahr als Hochwasserschutz zu dienen. Für die Detektion der Wasserflächen werden die kostenlos verfügbaren Radaraufnahmen des Satelliten Sentinel-1 verwendet. Offene und ruhige Wasserflächen können auf Grund ihrer geringen Rückstreuung im Radarbild mit einem einfachen Schwellenwertverfahren detektiert werden. Eine anschließende Vektorisierung liefert für alle verfügbaren 57 Radarszenen die jeweilige aktuelle Abgrenzung zwischen Land und Wasser. Für ein detaillierteres Verständnis der saisonalen Veränderung des Forggensees wird jedoch eine tägliche Wassermaske benötigt. Die fehlenden Wasserflächen an Tagen, für die es keine Sentinel-1-Aufnahmen gibt, werden mit Hilfe einer linearen Interpolation rekonstruiert. Ein Poster sowie eine online frei verfügbare Animation visualisieren den saisonalen Wandel des Forggensees.

Stichworte Sentinel-1 · Radardaten · Wassermaske · Überflutungsfläche · Stausee · Zeitreihe · Interpolation

Abstract

The variations of the Forggensee reservoir throughout the year seen by Sentinel-1. The estimation and visualization of a daily open water mask is becoming more and more important in science. This article describes a simple and robust method of how to derive a daily water mask by the example of the Forggensee. The reservoir is known for its pronounced changes in water level. Each year during autumn, the water level is lowered by approx. 15.5 m and the water surface is reduced to one quarter so that the reservoir can be used as a flood control during spring. To describe this seasonal change, water surfaces are estimated for the year 2016. For the detection of the water surfaces, freely available radar images from the satellite Sentinel-1 are used. Open and calm water is generally indicated by a low backscattering. Thus, a simple threshold method can be used to detect the water surfaces. Subsequent vectorising delivers the current borderline between land and water for each of the available 57 SAR acquisitions. However, for a more detailed understanding of the seasonal changes of the Forggensee reservoir, a daily watermask is desirable. For days without any Sentinel-1 scenes, the missing water surfaces are linearly interpolated. To visualize these seasonal changes of the Forggensee reservoir, a poster as well as a freely available online animation is created.

✉ Anika Blocksdorf
366.tage.forggensee@gmail.com

Andreas Schmitt
andreas.schmitt@hm.edu

Anna Wendleder
anna.wendleder@dlr.de

² Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt,
Oberpfaffenhofen, Wessling, Germany

¹ Hochschule für Angewandte Wissenschaften München,
Fakultät für Geoinformation, Munich, Germany

1 Einleitung

Der Forggensee ist ein Stausee im Landkreis Ostallgäu in Bayern, der jedes Jahr im Herbst um ca. 15,5 m abgesenkt wird, um im Frühjahr während der Schneeschmelze als Hochwasserschutz zu dienen. Im Frühjahr wird der Forggensee wieder aufgestaut, so dass er von Anfang Juni bis Mitte Oktober für die Schifffahrt und Freizeitaktivitäten genutzt werden kann. Seine Fläche von 16 km² reduziert sich im Laufe des Jahres auf nur noch ein Viertel. Diese starke Veränderung kann mit Hilfe von abbildenden Radardaten visualisiert werden. Blocksdorf (2017a) berichtet hierzu ausführlich in ihrer Bachelorarbeit.

Abbildende Radardaten sind im Gegensatz zu optischen Satellitendaten weitestgehend wetterunabhängig, da Radarewellen die Atmosphäre und damit auch Wolken besser durchdringen können (vgl. Chuvieco 2016). Dies bietet den Vorteil, dass im Vergleich zu optischen Daten auch Daten an wolkenbedeckten Tagen für eine Auswertung verwendet werden können (Abb. 1). Am Beispiel des Forggensees stehen für das Jahr 2016 insgesamt 57 Radarszenen von Sentinel-1 und 68 optische Satellitenszenen von Sentinel-2 zur Verfügung. Während von Sentinel-1 alle 57 Szenen verwendet werden können, sind es bei Sentinel-2 nur 16, da die restlichen Szenen eine zu hohe Wolkenbedeckung über dem Forggensee aufweisen.

Die Satellitensensoren Sentinel-1 und Sentinel-2 gehören zum Copernicus-Programm der European Space Agency

(ESA). Dieses Programm fördert die weltweite Nutzung fernerkundlicher Daten auf zwei Wegen: Einerseits gibt es die ESA-eigenen Sentinel-Missionen (Sentinel-1 bis Sentinel-6), deren Daten in vollem Umfang für jeden Nutzer frei zur Verfügung gestellt werden. Andererseits gibt es die so genannten „Contributing Missions“ der ESA und weiterer Organisationen, die ergänzende Aufnahmen meist in begrenztem Umfang anbieten. Sentinel-1 besteht aus zwei Satelliten, die jeweils einen C-Band SAR-Sensor tragen. Der typische Aufnahmemodus für Mitteleuropa nennt sich „Interferometric Wide Swath“ und liefert Radarbilder mit einer nominellen räumlichen Auflösung von 5 m × 20 m in den beiden Polarisierungen VV (kopolar) und VH (kreuzpolar). Im Zuge der Vorverarbeitung (Multilooking, Geokodierung, Kalibrierung) lassen sich somit 10 m × 10 m-Pixel am Boden erreichen. Die Wiederholrate eines einzelnen Satelliten beträgt zwölf Tage und reduziert sich dank des zweiten Satelliten auf nur noch sechs Tage. Die Aufnahmen erfolgen unabhängig von Tageszeit und Wetterbedingungen nach einem zuvor festgelegten Aufnahmeplan. Sentinel-2 bezeichnet zwei Satellitenplattformen mit optischen Multispektral-Sensoren, die passiv in 13 Bändern die von der Erde zurückgestrahlte Sonneneinstrahlung messen. Die optischen Aufnahmen in den Bändern B2, B3, B4 und B8, welche die Spektralbereiche Blau, Grün, Rot und Infrarot abdecken, werden bereits im 10 m × 10 m-Raster geokodiert und zu Top-of-Atmosphere-Reflektanzen kalibriert zur Verfügung gestellt. Die Wiederholrate beträgt zwar nur fünf Tage, jedoch kann wegen Wolkenbedeckung nicht jede Aufnahme vollständig verwertet werden. Somit liegen die Aufnahmen beider Missionen, Sentinel-1 und Sentinel-2, im einheitlichen 10 m-Pixelraster in UTM-Koordinaten geokodiert und weitestgehend kalibriert vor, was sowohl den Vergleich als auch die Fusion der beiden Datensätze enorm erleichtert.

Aus den Radarszenen werden die Wasserflächen des Forggensees detektiert und anschließend visualisiert. Wasserflächen haben in Radardaten aufgrund ihrer glatten Oberfläche eine äußerst geringe Rückstreuung zum Sensor und erscheinen daher in der Abbildung schwarz (Abb. 1 links). Die Grenzlinie zwischen Wasser und Land kann daher über ein einfaches Schwellenwertverfahren ermittelt werden (Zeng et al. 2017; Twele et al. 2011). Diese Grenzlinie wird anschließend als Umrandungslinie extrahiert. Nach Anwendung von Generalisierungs- und Glättungsalgorithmen können die Umrandungslinien in Polygone umgewandelt werden, da diese für die Visualisierung benötigt werden. Um auch die Wasserflächen an Tagen ohne vorhandene Satellitenaufnahmen zu ermitteln, wird zwischen den Szenen interpoliert. Nach Aufbereitung der Daten kann ein Raster interpoliert und daraus auch Umrandungslinien für die Interpolationstage abgeleitet werden. Für die Datenverarbeitung wird das frei verfügbare geographische Informationssystem QGIS® genutzt.

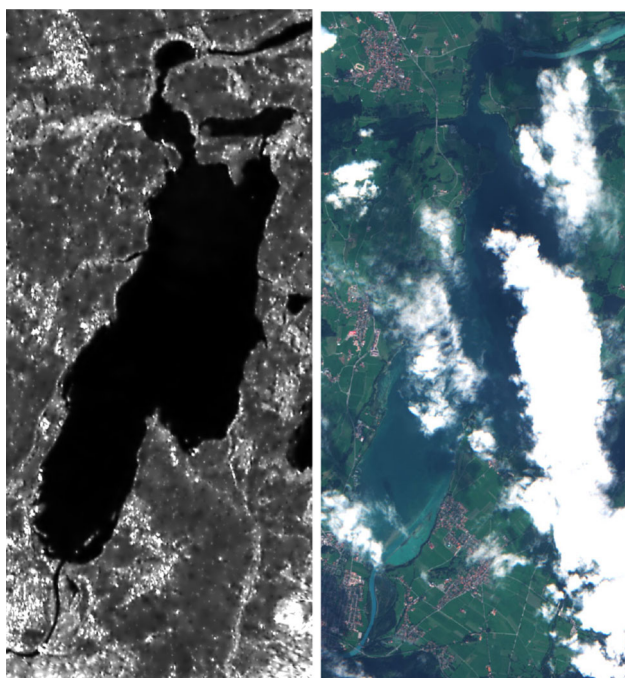


Abb. 1 Der Forggensee vom Weltall aus betrachtet: links die Radarszene von Sentinel-1 und rechts die zeitnahe optische, jedoch wolkenverhangene Szene von Sentinel-2

2 Ableitung der Wasserflächen aus SAR-Aufnahmen

Die Radardaten des Satelliten Sentinel-1 werden zunächst am DLR mithilfe des Multi-SAR-Systems vorprozessiert. Dieses System ermöglicht es, die Daten für weitere Verarbeitungsschritte bereitzustellen und beinhaltet die radiometrische Kalibrierung, polarimetrische Zerlegung, Ortho-Entzerrung und radiometrische Glättung (Bertram et al. 2016). Die multipolarisierten Aufnahmen werden eingangs radiometrisch auf β_0 kalibriert und zu sogenannten Kennaugh-Elementen zusammengefasst (Schmitt et al. 2015). Diese Zerlegung trennt primär Helligkeitsinformationen von polarimetrischer Information. Insgesamt gibt es neun Kennaugh-Elemente. Im Falle von Sentinel-1 Aufnahmen stehen nur zwei Elemente zur Verfügung: k_0 (Gesamtintensität) und k_1 (Verhältnis zwischen ko- und kreuzpolarer Intensität). Alle übrigen Kennaugh-Elemente sind entweder gar nicht oder nicht mit brauchbarer Information belegt. Für die Ableitung der Wasserflächen bietet sich folglich k_0 an, da Wasserflächen durch eine geringe Intensität charakterisiert werden. Das zweite Element wäre für die Abgrenzung von Volumenstreuern wie z.B. Wäldern oder Gletschern wichtig, welche hier jedoch nicht im Fokus stehen. Die Aufnahmen werden mit Hilfe eines digitalen Geländemodells (DGM) auf ein $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ -Raster am Boden projiziert und durch das sogenannte Multiscale Multilooking (Schmitt et al. 2015) radiometrisch geglättet. Die abschließende Normierung der Daten ermöglicht die Weiterverarbeitung mit jedem üblichen Programm.

Den zentralen Punkt für die Ableitung der Wasserflächen bildet die Schwellenwertermittlung. Der Schwellenwert wird empirisch ermittelt und für alle Szenen einheitlich auf 3400 (DN) bzw. -12,6 dB festgelegt, was sich mit bisherigen Untersuchungen deckt (Wendleder et al. 2012). Abbildendes Radar weist aufgrund der Beleuchtung der Landschaft aus

einer bestimmten Richtung rein visuell eine große Ähnlichkeit zu DGMs auf. Die Grenzlinie zwischen Wasser und Land kann dadurch mit ähnlichen Methoden abgeleitet werden wie Höhenlinien aus einem DGM. Innerhalb von QGIS® wird aus der SAGA-Toolbox die Funktion „Umrundungslinien“ verwendet. Mit Hilfe dieser Methode werden die Umrundungslinien für alle 57 verfügbaren Radarszenen erzeugt, die den Rand der Wasserflächen des Forggensees darstellen. Nach der Bereinigung der Ergebnisse werden diese Umrundungslinien in Polygone umgewandelt, generalisiert, geglättet und nachbearbeitet (Abb. 2).

3 Interpolation der Wasserflächen für jeden Tag

Für die Rekonstruktion der Wasserstandsveränderung für das komplette Jahr 2016 werden auch die Wasserflächen von Tagen ohne Radaraufnahmen benötigt. Im Hinblick auf zukünftige Satellitenmissionen wird diese Lücke wohl stetig kleiner werden, so dass in naher Zukunft eine tägliche Beobachtung des Wasserstands mit Satellitendaten möglich sein wird. Anhand der abgeleiteten Flächen kann die Wasserstandsveränderung anschließend Tag für Tag, in einer Zeitreihe, dargestellt werden. Im vorliegenden Fall werden die fehlenden Wasserflächen interpoliert. Dafür müssen die Daten aufbereitet werden, da die abgeleiteten Wasserflächen zweier aufeinanderfolgender Szenen an unterschiedlichen Stellen Überschneidungen und Berührungen aufweisen. In der Natur hingegen ist die kleinere Wasserfläche bei einer Wasserstandsveränderung immer vollständig in der größeren Wasserfläche enthalten. Dieser Zustand ist auch eine Voraussetzung dafür, dass Interpolationsmethoden einwandfrei funktionieren können. Folglich werden zuerst die Stützstellen miteinander verschnitten, so dass die größere Wasserfläche die kleinere Wasserfläche komplett einschließt.

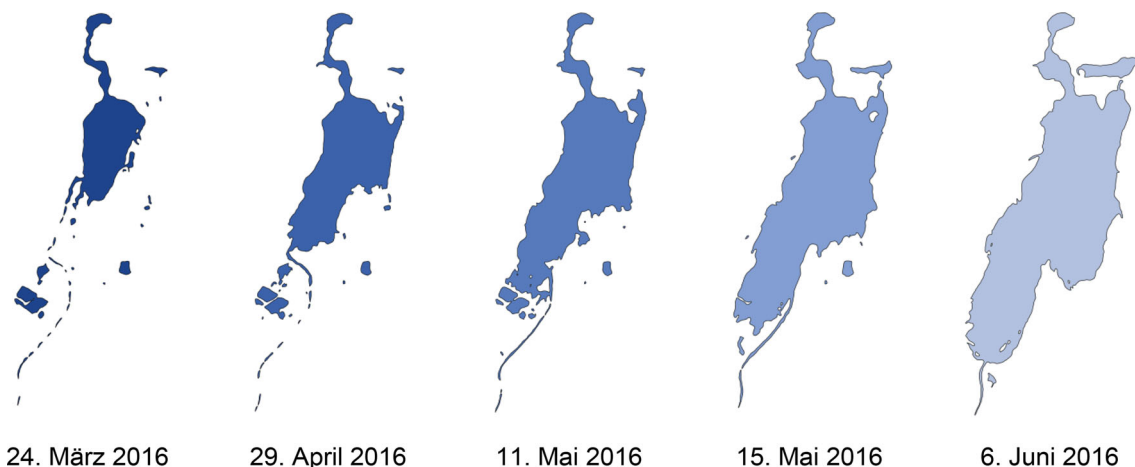


Abb. 2 Fünf Beispiele für die temporäre Ausdehnung des Forggensees im Jahr 2016 abgeleitet aus Sentinel-1-Aufnahmen

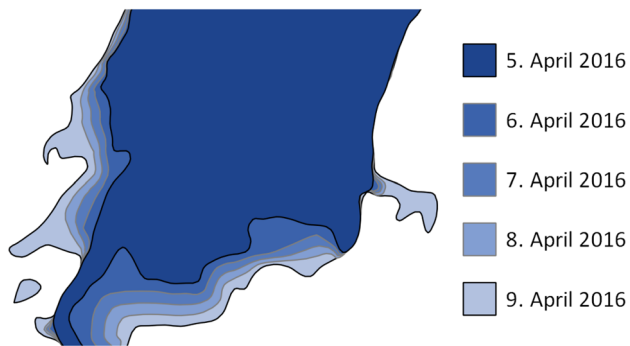


Abb. 3 Ausschnitt der Interpolationsflächen zwischen den abgeleiteten Wasserflächen vom 5. April 2016 (dunkelblau) bis 9. April 2016 (hellblau)

Ein Puffer von wenigen Metern (kleiner als die halbe Pixelgröße) ermöglicht selbst an steilen Ufern noch eine stabile Interpolation zwischen den Aufnahmezeitpunkten. Die daraus resultierenden Linien werden wieder in Punkte zerlegt, wobei jeder Punkt den Aufnahmezeitpunkt als Attribut mitbekommt. Somit reicht eine einfache Dreiecksvermaschung (TIN) aus, um die Wasserlinie der fehlenden Zeitpunkte linear zu interpolieren (Abb. 3). Selbstverständlich fußt diese Interpolation auf der Annahme eines linearen Verlaufs des Seegrunds, was sicher nicht der Wirklichkeit entspricht. Die Verwendung eines DGMs des abgelassenen Stausees kann prinzipiell die Qualität der Interpolation zusätzlich erhöhen.

4 Ergebnisse & Visualisierung der Wasserflächen

Anhand der Radardaten von Sentinel-1 können insgesamt 57 Wasserflächen abgeleitet werden, von denen 39 Szenen für die anschließende Interpolation verwendet werden. Zwischen den übrigen Szenen (während der See im Sommer gefüllt ist) sind die Wasserschwankungen so gering, dass die Wasserfläche als stabil angenommen werden kann. Mit Hilfe der Interpolation können 127 Wasserflächen für den Jahresbeginn (bis Anfang Juni) und 66 Wasserflächen für das Jahresende (ab Mitte Oktober) ermittelt werden. Auf Basis dieser Daten ist die tägliche Wasserstandsveränderung des Forggensees für das Jahr 2016 nun darstellbar.

Zur Visualisierung der Ergebnisse werden zwei verschiedene Medien verwendet: ein Poster und eine Animation. Während die Animation sämtliche Wasserflächen als Zeitreihe enthält, kann im Poster nur eine Auswahl an Wasserflächen dargestellt werden (Abb. 4). Als Zielgruppe, insbesondere beim Poster, werden Touristen und andere interessierte Personen angenommen, die die Informationszentren rund um den Forggensee besuchen (Blocksdorf 2017b). Daher sind zusätzlich zu den abgeleiteten und interpolierten Wasserflächen des Forggensees weitere Informationen enthalten, wie beispielsweise Fotos zu verschiedenen Jahreszeiten, historische Ortschaften und Straßenverläufe im

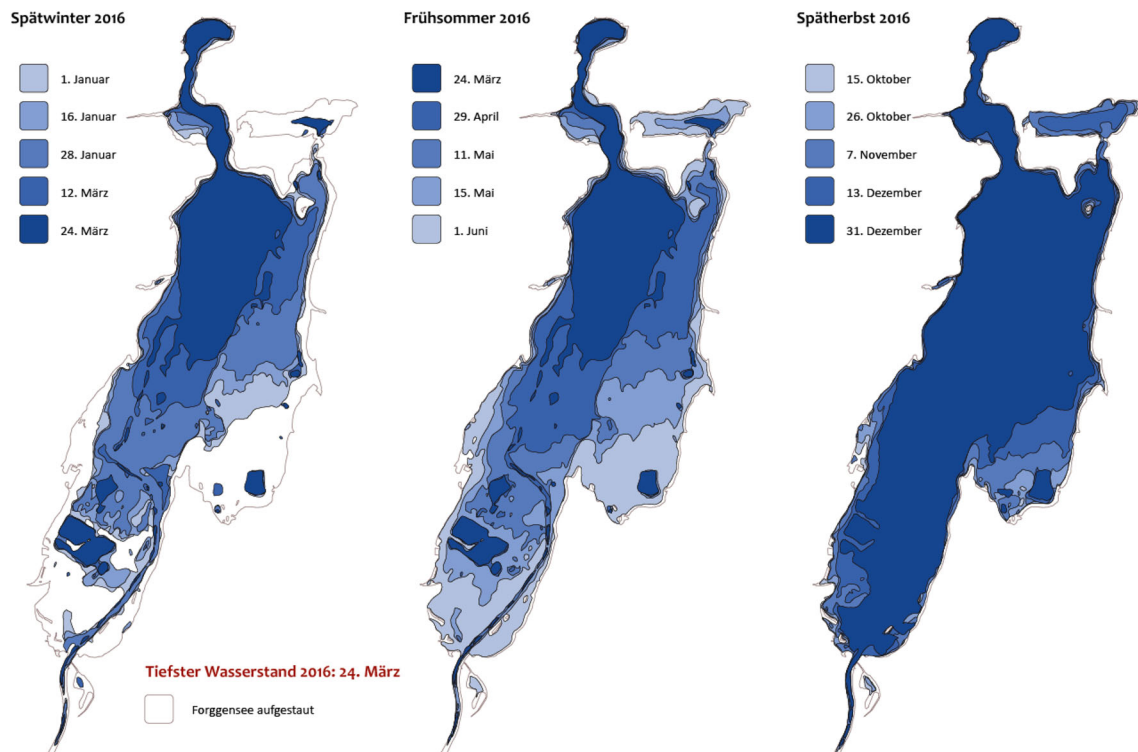


Abb. 4 Exemplarische Darstellung der Wasserstände des Forggensees in drei ausgewählten Zeiträumen: Spätwinter, Frühsommer und Spätherbst im Jahr 2016

Abb. 5 QR-Code der Animation auf YouTube (<https://youtu.be/dQH2x-lwpt0>)



Seegebiet, die aus folgenden Datenbeständen übernommen worden sind: Sentinel-2-Archiv, OpenStreetMap, historisches Kartenmaterial sowie eigenes Fotomaterial.

Die Animation kann frei auf YouTube eingesehen werden (Blocksdorf 2017c). Da viele Besucher nur das sommerliche Gesicht des Forggensees kennen, soll die Animation einen Eindruck davon vermitteln, wie der Forggensee sich im restlichen Jahr verändert. Über einen QR-Code auf dem Poster können sich Besucher der Informationszentren die Animation direkt auf ihrem Smartphone ansehen (Abb. 5). Die Integration des Verfahrens in ein webbasiertes Forggensee-Informationssystem, das tagesaktuell den Wasserstand wiedergibt, ist vorgesehen, jedoch derzeit noch nicht realisiert.

5 Fazit

Die Sentinel-Missionen der ESA eröffnen für jeden interessierten Nutzer bisher ungeahnte Möglichkeiten für den Einsatz von Fernerkundung. Riesige Mengen an Daten werden tagtäglich aufgenommen und kostenlos zur Verfügung gestellt. Gerade Mitteleuropa profitiert von einer mindestens wöchentlichen Abdeckung mit einer geometrischen Auflösung von 10 m sowohl im optischen als auch im Radarbereich. Aufgrund der Wolkenbedeckung kann jedoch nicht jede optische Aufnahme direkt verwertet werden. Daher fokussiert dieser Artikel auf die Radardaten der Sentinel-1-Mission. Die Wasserflächen werden mit einem einfachen und einheitlichen Schwellenwertverfahren für jeden Aufnahmezeitpunkt erkannt und vektorisiert. Die Wasserstände der übrigen Tage werden linear zwischen den jeweiligen Satellitenaufnahmen interpoliert, wobei auf eventuelle Überschneidungen der zur interpolierenden Wasserflächen zu achten ist. Somit liegt eine tägliche Wasserflächenmessung bzw. -schätzung vor. Zukünftig wird aufgrund der wachsenden Zahl von Satellitenaufnahmen die Zeitspanne der Interpolation immer kürzer werden, so dass in absehbarer Zeit eine tägliche Messung aus Satellitendaten möglich und die Interpolation überflüssig sein wird.

Zur Visualisierung der multitemporalen Wassermasken sind zwei Wege gewählt worden: (1) ein Poster, das interessierten Besuchern von Informationszentren einen ersten Eindruck vermittelt und zusätzlich den historischen Rahmen aufspannt, und (2) eine Animation, die über einen QR-Code auf dem Poster online abgerufen werden kann und die gesamte Zeitreihe enthält. Somit sind die Stärken der bei-

den Medien bestmöglich eingesetzt worden. Eine Idee für zukünftige Arbeiten ist die Einbindung dieses Verfahrens in einen webbasierten Geoinformationsdienst, der tagesaktuell den Wasserstand im Forggensee wiedergibt, was für den Hochwasserschutz wie auch für den Tourismus von Interesse sein könnte. Ein Problem ist dabei sicherlich die Extrapolation der Wasserstandsmessungen über die letzte verfügbare Aufnahme hinaus. Auch hier kommt einem die zunehmende zeitliche Auflösung zukünftiger Fernerkundungssysteme zu Gute. Dank der Einfachheit des vorgestellten Verfahrens ist auch die Kombination multisensoraler Daten zur Erhöhung der zeitlichen Auflösung denkbar. Der Forggensee liefert hierzu ein sehr anschauliches Beispiel. Gerade mit Blick auf das immer wichtiger werdende Wassermanagement ist die fernerkundliche Vorratsschätzung auch für andere Stauseen und Flüsse von großem Interesse.

Literatur

- Bertram A, Wendleder A, Schmitt A, Huber M (2016) Long-term monitoring of water dynamics in the Sahel region using the Multi-SAR-System. ISPRS the international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences, XLI-B8:313–320
- Blocksdorf A (2017a) Ableitung und Visualisierung der Wasserstände des Forggensee-Stausees im Jahresverlauf unter Verwendung von Sentinel-1 Radardaten. – Bachelorarbeit, Hochschule für Angewandte Wissenschaften München
- Blocksdorf A (2017b) http://www.geo.hm.edu/projekte_2/index~1_15843.de.html. 17 Aug 2017
- Blocksdorf A (2017c) <https://youtu.be/dQH2x-lwpt0>. 17 Aug 2017
- Chuvieco E (2016) Fundamentals of Satellite Remote Sensing: An Environmental Approach, 2. Aufl. CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton
- Schmitt A, Wendleder A, Hinz S (2015) The Kennaugh element framework for multi-scale, multi-polarized, multi-temporal and multi-frequency SAR image preparation. ISPRS J Photogramm Remote Sens 102:122–139. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.01.007>
- Twele A, Martinis S, Hahmann T (2011) SAR-HQ Schlussbericht: Methoden zur Erfassung und Analyse von großflächigen Hochwasserereignissen mittels hochauflösender Radardaten. – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) und Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum (DFD), Oberpfaffenhofen
- Wendleder A, Wessel B, Roth A, Breunig M, Martin K, Wagenbrenner S (2012) TanDEM-X Water Indication Mask: Generation and First Evaluation Results. IEEE J Sel Top Appl Earth Obs Remote Sens 6(1):171–179. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2012.2210999>. ISSN 1939-1404
- Zeng L, Schmitt M, Li L, Zhu X (2017) Analysing changes of the Poyang Lake water area using Sentinel-1 synthetic aperture radar imagery. Int J Remote Sens 38(23):7041–7069. <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1370151>